

50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium

September, 19-23, 2005

**Maschinenbau
von Makro bis Nano /
Mechanical Engineering
from Macro to Nano**

Proceedings

Fakultät für Maschinenbau /
Faculty of Mechanical Engineering

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

Impressum

| | |
|--|---|
| Herausgeber: | Der Rektor der Technischen Universität Ilmenau Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Scharff |
| Redaktion: | Referat Marketing und Studentische Angelegenheiten Andrea Schneider Fakultät für Maschinenbau Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Kurtz, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. med. (habil.) Hartmut Witte, Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Linß, Dr.-Ing. Beate Schlütter, Dipl.-Biol. Danja Voges, Dipl.-Ing. Jörg Mämpel, Dipl.-Ing. Susanne Töpfer, Dipl.-Ing. Silke Stauche |
| Redaktionsschluss: (CD-Rom-Ausgabe) | 31. August 2005 |
| Technische Realisierung: (CD-Rom-Ausgabe) | Institut für Medientechnik an der TU Ilmenau Dipl.-Ing. Christian Weigel Dipl.-Ing. Helge Drumm Dipl.-Ing. Marco Albrecht |
| Technische Realisierung: (Online-Ausgabe) | Universitätsbibliothek Ilmenau ilmedia Postfach 10 05 65 98684 Ilmenau |
| Verlag: |  Verlag ISLE, Betriebsstätte des ISLE e.V. Werner-von-Siemens-Str. 16 98693 Ilmenau |

© Technische Universität Ilmenau (Thür.) 2005

Diese Publikationen und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt.

| | | |
|------------------------|---------------|---------------------|
| ISBN (Druckausgabe): | 3-932633-98-9 | (978-3-932633-98-0) |
| ISBN (CD-Rom-Ausgabe): | 3-932633-99-7 | (978-3-932633-99-7) |

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

C. Clauß/ W. Schinköthe

Integrierte Wegmessung in Lineardirektantrieben - Stand und Ausblick

ABSTRAKT

Elektrodynamische Linearmotoren besitzen im Allgemeinen zunächst keine unmittelbaren internen Maßverkörperungen und benötigen deshalb externe Wegmesssysteme zum Betrieb im geschlossenen Regelkreis oder auch zusätzlich zur Kommutierung bei mehrsträngigen Motoren. Dadurch erhöhen sich Kosten, Bauraum und Systemkomplexität bei Anwendungen in Positioniersystemen. Es stellt sich deshalb die Frage, ob ausgewählte Motorparameter nicht als inhärente sensorische Eigenschaften genutzt oder auch zuvor gezielt eingebracht werden können. Dies ist durch punktuelle Veränderung und angepasste Gestaltung der Motorgeometrie oft ohne größere Aufwände möglich. Gelingt es nun, diese eingebrachten sensorischen Eigenschaften mit ausreichender Genauigkeit auch auszuwerten, kann man von einem Motor mit integrierter Wegmessung sprechen. Der gegenwärtige Stand dazu soll vorgestellt werden.

EINLEITUNG

Von den rotatorischen Motoren sind schon seit längerer Zeit Verfahren zur sogenannten sensorlosen Positionsbestimmung bekannt. Dabei geht es insbesondere darum, Kommutierungspunkte zu detektieren. Vereinzelt werden derartige Verfahren jedoch auch so weit getrieben, dass prinzipiell eine Messung des Drehwinkels möglich wird. Industriell umgesetzte Lösungen dienen jedoch im Allgemeinen einer sensorlosen Kommutierung. Ebenfalls seit Jahren bekannt sind Verfahren zur Geschwindigkeits- oder Drehzahlmessung unter Nutzung der gegeninduzierten Spannung in Antrieben. Beide Verfahren nutzen Eigenschaften im konstruktiven Aufbau oder im Funktionsprinzip der Motoren, um sensorlos Informationen zu Betriebsparametern zu erzeugen. Am Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik der Universität Stuttgart (IKFF) werden unter anderem Lineardirektantriebe im kleinen Leistungsbereich untersucht und anwendungsspezifisch entwickelt. In diesem Zusammenhang entstand bei stark miniaturisierten Antrieben ebenfalls die Idee, integrierte sensorische Eigenschaften derartiger Antriebe zur Wegmessung heranzuziehen beziehungsweise solche sensorischen Eigenschaften zunächst in die Antriebe zu implementieren.

Anwendungsgegenstand waren dabei elektrodynamische Linearmotoren, also Gleichstromlinearmotoren, die i. Allg. keine interne Maßverkörperung besitzen, zum Betrieb in einem Positioniersystem aber ein Messsystem zum Aufbau eines geschlossenen Regelkreises benötigen. Bei

mehrsträngigen Antrieben kommt zusätzlich die Problematik der Kommutierung hinzu. Bei der Entwicklung von miniaturisierten Antrieben fehlt oft der notwendige Bauraum für derartige Messsysteme oder die Kosten für ein solches Messsystem übersteigen die Antriebskosten.

In den zurückliegenden Jahren wurden deshalb am IKFF verschiedenartige Ansätze zur integrierten Wegmessung untersucht. Begonnen wurde mit einfachen, stark miniaturisierten homopolaren Motoren und linearen Stellgliedern dafür. Zur Auswertung der Weginformation wurde eine zusätzliche Messwechselspannung auf das Stellsignal moduliert. Danach stellte sich die Frage der Einbeziehung mehrsträngiger Motoren und somit auch der Kommutierung. Schließlich sollten auch leistungsstärkere Motoren und damit Systeme mit getakteter, pulsweitenmodulierter Ansteuerung mit einbezogen werden. Hier waren dann mikrorechnergestützte Auswerteverfahren erforderlich, die aus Spannungsanstiegen pulsweitenmodulierter Signale entsprechende Informationen erzeugten. Bei all diesen Verfahren wurden Induktivitätsänderungen bei Bewegung eines vorzugsweise eisenbehafteten Läufers in Teilspulen des Motors detektiert. Der Läufer und die Teilspulen mussten dabei konstruktiv aufeinander abgestimmt sein, was aber nicht bei allen Bauformen umzusetzen ist.

Zur Ausweitung des Messverfahrens auf andere Motorbauformen musste deshalb ein weiteres Verfahren und die erforderliche Auswertelektronik inklusive Auswertesoftware erarbeitet werden. Als sensorische Eigenschaft wird dabei die Flussdichteverteilung im magnetischen Kreis und die sich ergebenden Permeabilitäten im Motor genutzt.

Der Beitrag soll eine Übersicht über die Vielfalt der bisher am Institut entwickelten Verfahren zur integrierten Wegmessung in elektrodynamischen Linearmotoren geben, deren Vor- und Nachteile gegenüber anderen Messsystemen und auch die notwendigen konstruktiven Maßnahmen am Motor beleuchten und damit auch die einsetzbaren Motorbauformen eingrenzen. Der derzeit erreichte Stand bei der Ausnutzung interner sensorischer Eigenschaften von Gleichstromlinearmotoren wird diskutiert.

DETEKTION VON INDUKTIVITÄTSÄNDERUNGEN IN ELEKTRODYNAMISCHEN LINEARMOTOREN

Verfahren zur sensorlosen Läuferpositionserkennung sind abhängig von der Bauform des Linearmotors. Gut untersucht sind Verfahren für Motoren mit relativ zu Wicklungen bewegten flussführenden Komponenten. Bild 1 zeigt beispielhaft einen für die integrierte Wegmessung modifizierten Motor. Zur Wegmessung eignet sich hier die bei Relativbewegung zwischen Läufer und Stator auftretende Änderung der Induktivität von Teilwicklungen. Ob der magnetbehaftete Kern

den Stator oder den Läufer bildet, ist dabei gleichgültig, wichtig ist die Relativbewegung zwischen den beiden Komponenten.

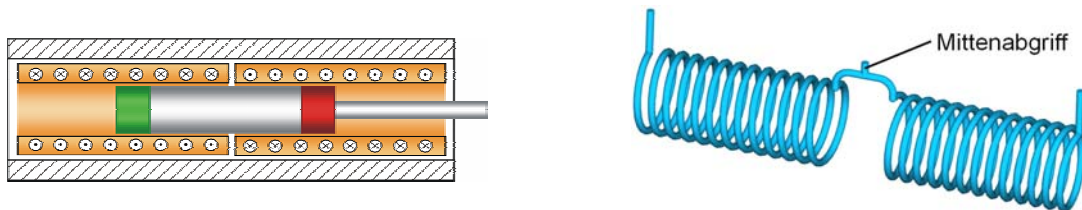


Bild 1: Einsträngiger homopolarer Linearmotor mit bewegtem Magnetsystem und Vorbereitung zur integrierten Wegmessung (rechts spezielle Wicklungsgestaltung mit Mittenabgriff)

Voraussetzungen für eine Induktivitätsänderung in den Teilspulen und damit eine integrierte Wegmessung sind dabei:

1. Ein Weicheisenkern oder ein Kern mit einem Dauermagneten hoher Permeabilität.
2. Eine Verschiebung des Kerns innerhalb der Teilspulen bewirkt eine Veränderung des von einer Teilspule umfassten Eisens und damit der Induktivität.
3. Die Wicklung ist als Langspule ausgeführt.

Werden diese Voraussetzungen konstruktiv realisiert und die Wicklung durch eine Mittelanzapfung in zwei Teilspulen geteilt, ergibt sich ein elektrisches Ersatzschaltbild nach Bild 2, das die Funktionsweise verdeutlicht.

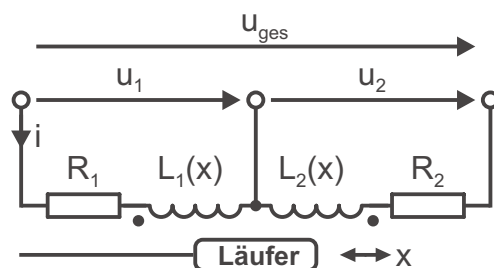


Bild 2: Elektrisches Ersatzschaltbild des homopolaren Antriebs mit integrierter Wegmessung

Bei dem hier vorgestellten Antrieb ist vorzugsweise das Magnetsystem beweglich als Läufer ausgeführt. Zum Einsatz kommen entweder Magnete aus AlNiCo als axial magnetisierte Zylindermagnete oder Seltenerdmagnete als radial bzw. diametral magnetisierte, auf einen weichmagnetischen Kern aufgeklebte Segmente oder als axial magnetisierte Zylindermagneten, wobei letztere wegen ihrer geringen Permeabilität ebenfalls mit Flussführungsteilen aus Weicheisen kombiniert werden müssen, Bild 3.

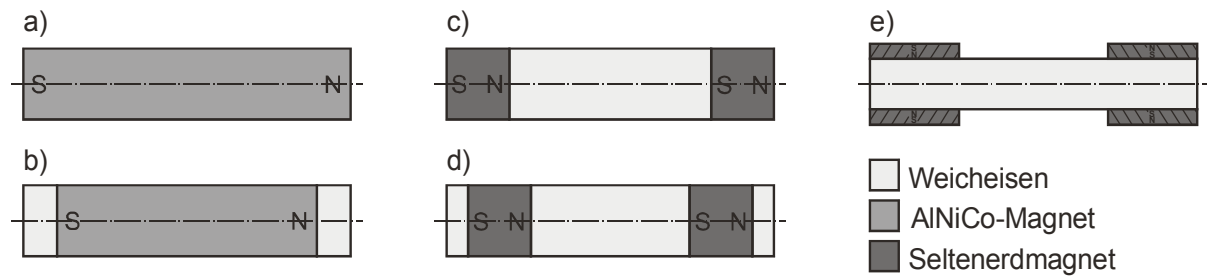


Bild 3: Mögliche Läuferbauformen für eine integrierte Wegmessung

a) bis d) Läufer mit axial magnetisierten Zylindermagneten

e) Läufer mit radial bzw. diametral magnetisierten Segmentmagneten

Optimale Verhältnisse für eine integrierte Wegmessung ergeben sich, wenn die Länge des detektierbaren Eisens bzw. der AlNiCo-Magneten genau der Hälfte der gesamten Spulenlänge entspricht. Bei Verschiebung des Läufers kommt es dann zu symmetrischen Induktivitäts- bzw. Impedanzänderungen in den Teilspulen des Antriebes. Diese können als interne sensorische Eigenschaft genutzt werden. Bild 4 zeigt den theoretischen (berechneten) Verlauf der Impedanz für einen konkreten Antrieb analog Bild 1.

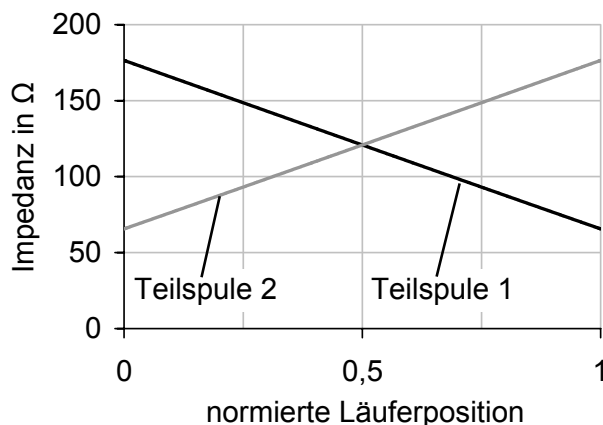


Bild 4: Theoretischer Verlauf der Teilspulimpedanzen über dem Läuferweg

Ein ähnliches Verhalten der Spuleninduktivität bzw. Impedanz kann auch bei mehrsträngigen Antrieben erreicht werden. Wiederum ist eine Unterteilung jedes Antriebsstranges in Teilspulen, hier durch eine Mittelanzapfung je Strang in zwei Teilstränge, erforderlich. Bild 5 zeigt dies für einen zweisträngigen Antrieb. Der Aufbau des Magnetsystems erfolgt beispielsweise mit Hilfe von diametral magnetisierten Schalensegmenten, die auf einen weichmagnetischen Kern aufgeklebt werden und den Läufer des Systems bilden. Spulen- und Magnetsystem müssen in ihrer axialen Ausdehnung wieder so aufeinander abgestimmt werden, dass der Läufer bei Bewegung immer aus dem einen Teilstrang ausfährt und in gleichem Maße in den anderen Teilstrang des gleichen Antriebsstranges einfährt, Bild 6.

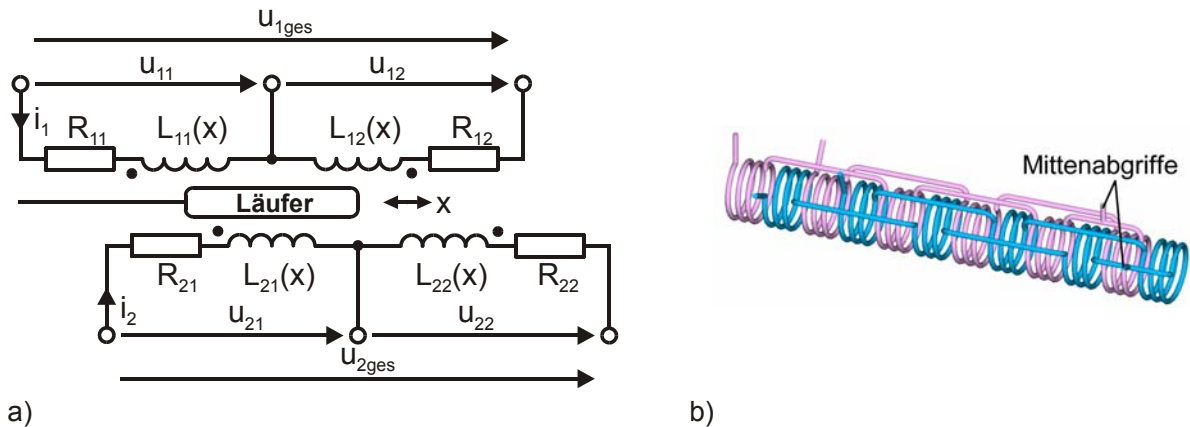


Bild 5: Spulensystemaufbau bei zweisträngigen Antrieben mit integrierter Wegmessung
a) elektrisches Ersatzschaltbild, b) praktische Umsetzung (vgl. auch Bild 6)

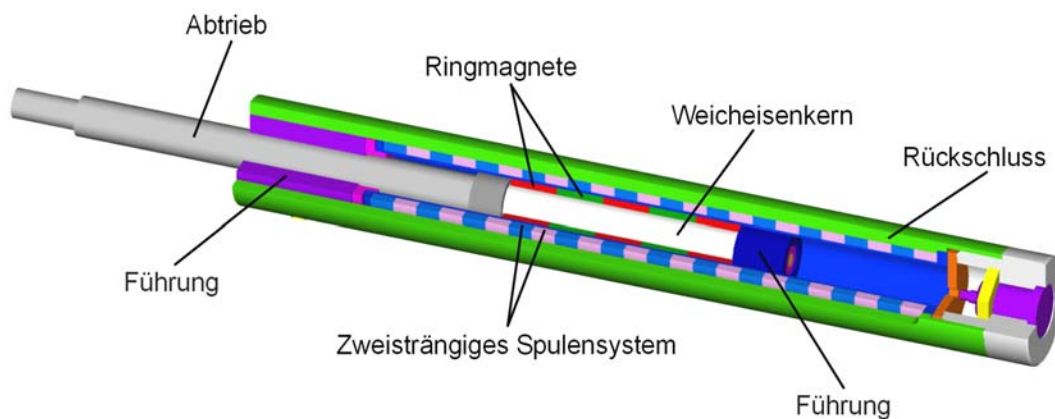


Bild 6: Mehrsträngiger Motor mit integrierter Wegmessung

Weitere prinzipielle Möglichkeiten zum Läuferaufbau zeigt Bild 7. Die diesbezüglichen Ausführungen für die homopolaren Motoren gelten hier sinngemäß, entweder haben die Magnetwerkstoffe bereits eine entsprechend hohe Permeabilität oder ein innerer Weicheisenkern wird nötig.

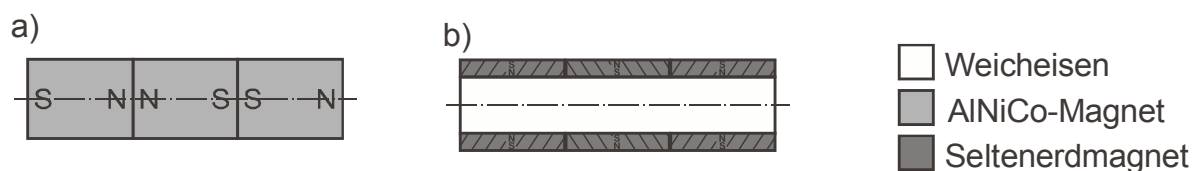


Bild 7: Läuferbauformen zur integrierten Wegmessung bei mehrsträngigen Motoren

- a) Läufer mit axial magnetisierten Zylindermagneten
- b) Läufer mit radial bzw. diametral magnetisierten Segmentmagneten

Der zur Wicklung abgestimmte Läuferaufbau führt zu einer Induktivitätsdifferenz zwischen den beiden Teilsträngen, die als interne sensorische Eigenschaft genutzt werden kann, Bild 8.

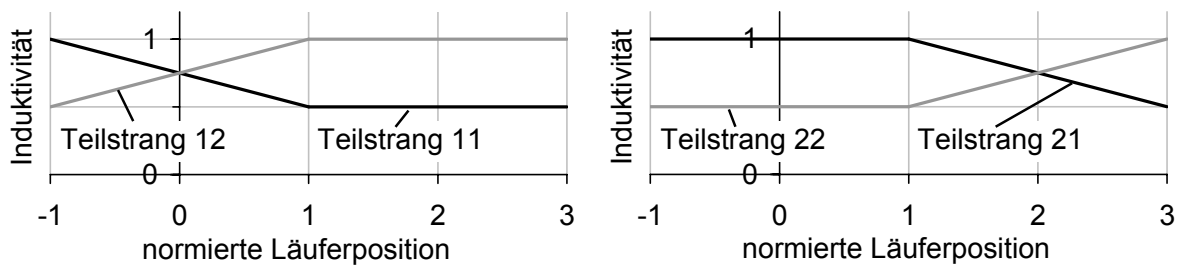


Bild 8: Theoretischer Verlauf der Induktivität in zweisträngigen Antrieben mit Mittenabgriff

Bei der Auswertelektronik für die integrierte Wegmessung in derartigen ein- oder mehrsträngigen Linearmotoren ist schließlich zu unterscheiden zwischen angepassten Verfahren für die:

1. Integrierte Wegmessung bei analoger Ansteuerung,
2. Integrierte Wegmessung bei getakteter Ansteuerung.

Integrierte Wegmessung bei analoger Ansteuerung. Als Beispiel dient hier weiterhin der in Bild 1 dargestellte Miniaturmotor. Um die Impedanzänderungen in den Teilspulen detektieren zu können, kann dem von der Endstufe erzeugten Gleichsignal (Gleichspannung oder –strom) ein Wechsignale überlagert und über dieses die Impedanz- bzw. letztlich die Weginformation ausgewertet werden. Bild 9 zeigt dies für den Fall einer spannungsgeregelten Endstufe. Periode und Amplitude des Wechsignals sind dem jeweiligen Antrieb anzupassen. Als Messsignal dient die Spannung am Mittenabgriff, deren Amplitude von der Läuferposition abhängt, Bild 10.

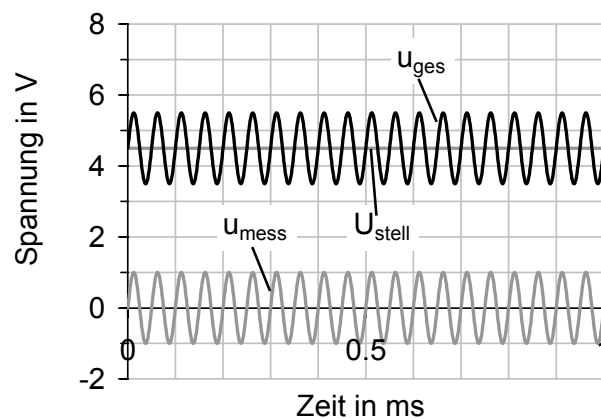


Bild 9: Motorspannung mit Stellspannung und überlagerter Messwechselspannung

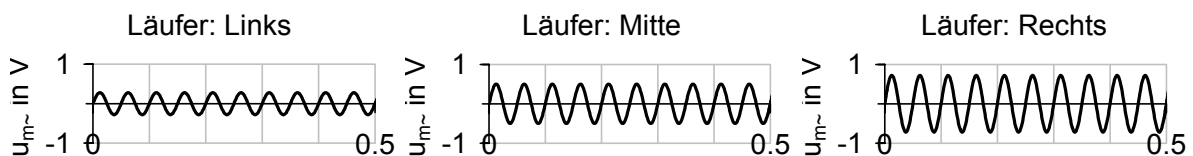


Bild 10: Amplitude des Messwechselsignals am Mittenabgriff für drei Läuferpositionen

Zur Auswertung wird dieses Signal zunächst gleichspannungsmäßig entkoppelt, anschließend kann die Amplitude des reinen Wechselsignals auf verschiedene Arten messtechnisch ermittelt werden. Die Signalauswertung kann rein analog erfolgen, es ist aber auch eine digitale Weiterverarbeitung mittels Mikrocontroller möglich. Allerdings treten beim Betrieb des Motors verschiedene Störgrößen auf, die schaltungstechnisch oder softwaremäßig kompensiert werden müssen. Im Wesentlichen sind dies thermische Einflüsse durch den Stromfluss in den Antriebspulen, bewegungsinduzierte Gegenspannungen, transformatorische Kopplungen zwischen Antriebspulen, Läufer und Rückschluss sowie Motorstromabhängigkeit, im Wesentlichen durch die Ankerrückwirkung.

Vorrangiges Einsatzgebiet analoger Stellglieder sind homopolare Antriebe mit vergleichsweise geringem Hub von 2 mm bis ca. 50 mm. In diesem Bereich kann dieses Verfahren zur integrierten Wegmessung dann sinnvoll zum Einsatz kommen. **Die erzielbaren Messgenauigkeiten liegen dabei zwischen 0,02 mm bis 0,1 mm.** Vorteile ergeben sich insbesondere beim Einsatz in stark miniaturisierten Antrieben, bei denen kein Bauraum für zusätzliche externe Messsysteme vorhanden ist.

Integrierte Wegmessung bei getakteter Ansteuerung. Die Ansteuerung mehrsträngiger, heteropolarer Antriebe bzw. generell von Antrieben höherer Leistung erfolgt im Allgemeinen über getaktete Leistungssteller. Zur Umsetzung einer integrierten Wegmessung eignet sich eine zusätzliche Messwechselspannung hier nicht, statt dessen können die Flanken der getakteten Motorbetriebsspannung direkt genutzt werden. Bild 11 zeigt beispielhaft den Verlauf von pulsweitenmodulierter Betriebsspannung und daraus resultierendem Spulenstrom.

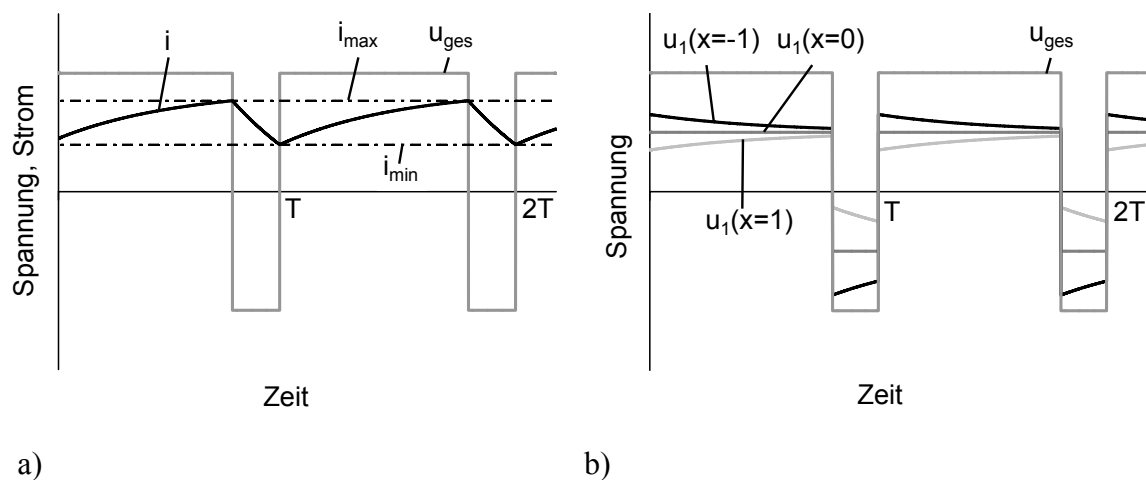


Bild 11: Verlauf von Motorspannung, Spulenstrom (a) und Mittenabgriffspannung (b) bei pulsweitenmodulierter Ansteuerung

Bild 11 b zeigt den Verlauf der Spannung am Mittenabgriff. Diese Spannung dient als läuferpositionsabhängiges Signal und wird zu zwei Zeitpunkten nach dem Flankenwechsel abgetastet. Zur Minimierung von Fehlereinflüssen findet die Abtastung nicht während des normalen PWM-Betriebes sondern in periodisch auftretenden Messzyklen statt. Gleichzeitig mit der Mittenspannung wird auch der Strangstrom gemessen. Dadurch können Temperatureinflüsse rechnerisch weitgehend eliminiert werden. Die gemessenen Ströme und Spannungen werden verstärkt, gefiltert, in Digitalwerte gewandelt und anschließend in einem Mikrocontroller weiterverarbeitet. Für den in Bild 6 dargestellten zweisträngigen Antrieb ergeben sich die in Bild 12 dargestellten Positionssignale.

Der Signalverlauf macht deutlich, dass ein inkrementell arbeitendes Messsystem realisiert wird. Aufgrund des inkrementellen Aufbaus des Systems ist die Genauigkeit unabhängig vom Hub des Antriebs. Allerdings treten auch bei mehrsträngigen Systemen Fehlereinflüsse auf, die durch zusätzliche Maßnahmen korrigiert werden müssen. Dies sind wiederum transformatorische Kopplungen zwischen den Antriebssträngen, verlangsamer Feldabbau durch Wirbelströme und bewegungsinduzierte Gegenspannungen. Eine Kompensation dieser Einflüsse ist oftmals nur mit Hilfe von Korrekturtabellen möglich.

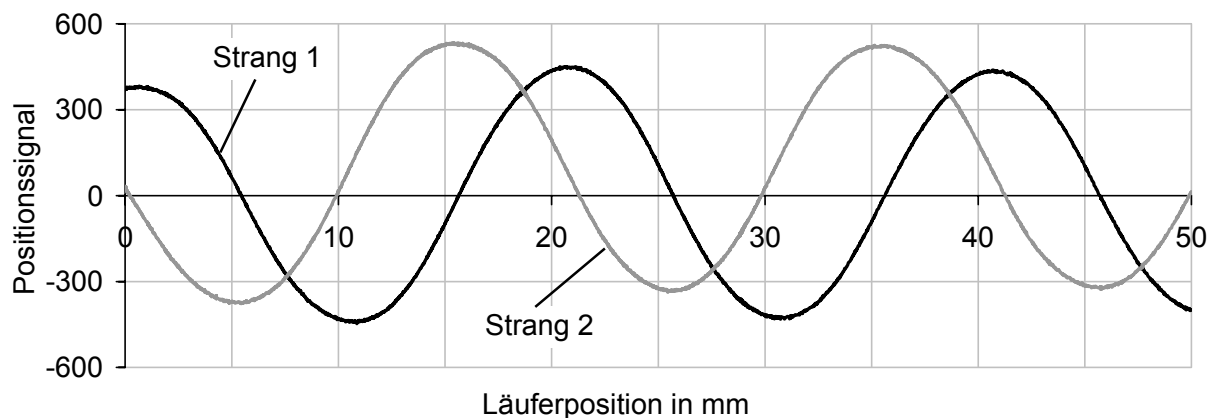


Bild 12: Positionssignale der beiden Stränge des Linearantriebs nach Bild 6

Vorrangiges Einsatzgebiet dieses Verfahrens zur integrierten Wegmessung werden mehrsträngige, kommutierte Systeme mit vergleichsweise großem Hub sein. Diese Antriebe benötigen zur Kommutierung in jedem Fall ein Messsystem. Dieses kann mit einem vergleichsweise geringen schaltungstechnischen Aufwand integriert ausgeführt werden, ohne zusätzlichen Bauraum zu benötigen. **Die Genauigkeit der Wegmessung liegt hier im Bereich von 0,1 mm bis 0,2 mm.** Soll eine Genauigkeit bis 0,05 mm erreicht werden, sind umfangreiche Fehlerkorrektur- und Kompensationsmaßnahmen erforderlich.

DETEKTION VON FLUSSDICHTÄNDERUNGEN IN ELEKTRODYNAMISCHEN LINEARMOTOREN

Zur integrierten Wegmessung eignet sich prinzipiell auch die Flussdichte im Magnetkreis bzw. die sich dadurch im Weicheisen einstellende Permeabilität, die gegebenenfalls wiederum aus der Impedanz oder Induktivität einer Wicklung ermittelt werden kann. Zur Erläuterung sei zunächst ein einfacher Tauchspulmotor betrachtet, Bild 13.

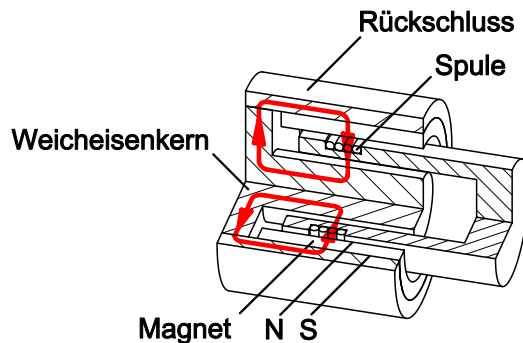


Bild 13: Tauchspulantrieb

Die einsträngige Wicklung ist hier als Kurzspulsystem ohne zusätzlichen Mittenabgriff ausgeführt, das Feld wird beispielsweise durch einen radial magnetisierten Magnetring erzeugt. Bedingt durch diesen Aufbau weist der weichmagnetische Kern des Antriebs keine konstante Flussdichte auf, wie Bild 14 verdeutlicht.

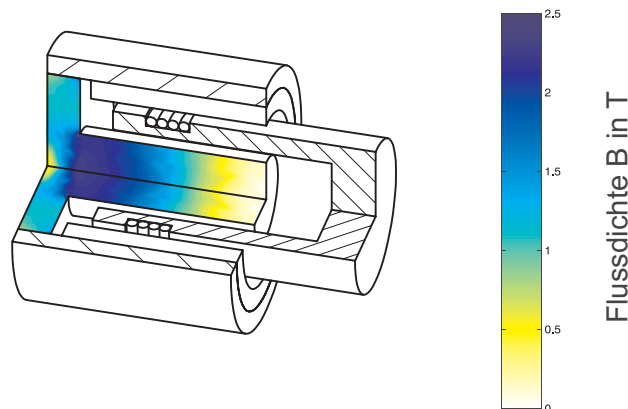


Bild 14: Flussdichte im Kern des Tauchspulmotors (Simulation)

Hier ist also keine Relativbewegung zwischen Eisenteilen des Magnetkreises nötig, vielmehr erfasst die Wicklung positionsabhängige Flussdichten im festen Magnetkreis. Voraussetzungen für eine Wegmessung über die Flussdichte sind dabei:

1. Eine monoton verlaufende Permeabilität im Weicheisenkern.
2. Eine den Fluss umfassende Spule zum Messen dieser Permeabilität.

Wird insbesondere die erste Voraussetzung gezielt bei der Magnetkreisauslegung beachtet, ergibt sich auch hier eine Möglichkeit zur integrierten Wegerfassung. Die Messung der Flussdichte zur Läuferpositionsbestimmung ist zwar bereits Stand der Technik. Allerdings kommen bisher zusätzliche Bauelemente wie Hall-Sensoren oder magnetoresistive Sensoren zum Einsatz. Dies soll durch die integrierte Wegmessung vermieden werden.

Allein mit Hilfe der Antriebsspule besteht aber keine Möglichkeit zur direkten Flussdichtemessung. Daher muss auf abgeleitete Größen ausgewichen werden. Obwohl sie von der Feldstärke und der Vorgeschichte des Materials abhängig ist, bietet sich die Permeabilität $\mu = \mu_0 \mu_r$ hier besonders an. Um sie als positionsabhängige Messgröße nutzen zu können, muss sie allerdings über dem gesamten Läuferweg einen monotonen Verlauf aufweisen. Da die Permeabilität weichmagnetischer Werkstoffe ein ausgeprägtes Maximum bei einer Flussdichte von 0,5 T bis 0,75 T aufweist, ist es nicht ausreichend, die Feldverteilung im magnetischen Kreis des Motors dahingehend zu optimieren, dass sich ein monotoner Flussdichteverlauf ohne nennenswerte Sättigung über dem Läuferweg ergibt. Es ist vielmehr auch notwendig, Zonen geringer Flussdichte zu vermeiden, da hier die maximale Permeabilität wieder unterschritten wird und kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Permeabilität und Flussdichte mehr gegeben ist. Abhilfe ist hier durch zusätzliche Maßnahmen, wie z.B. kegelförmige Senkungen im Kern, möglich.

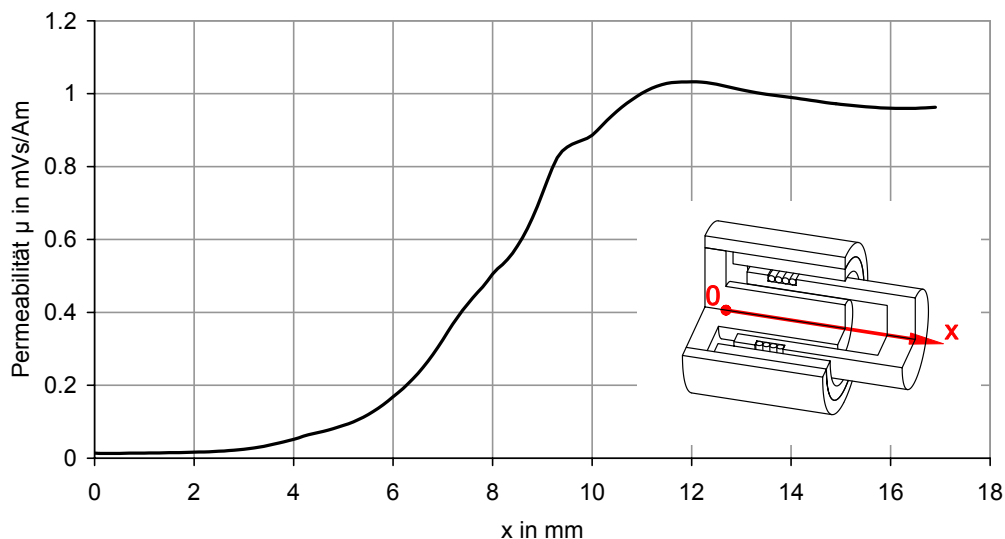


Bild 15: Permeabilität im Kern (Simulation; Kernlänge 17 mm)

Für den oben dargestellten Tauchspulantrieb ergibt sich über der Kernlänge die in Bild 15 dargestellte Permeabilität. Eine eindeutige Zuordnung von Läuferposition x und Permeabilität ist nur bis 12 mm gegeben, der Kern reicht allerdings bis 17 mm. Ab einer Läuferposition von 12 mm sinkt die Flussdichte im Kern unter 0,5 T (siehe Bild 14).

In der Praxis wirkt sich die veränderte Permeabilität auf den Verlauf des Stromes nach einem Flankenwechsel im pulsweitenmodulierten Ansteuersignal, wie oben bereits genutzt, aus. Bestimmt wird dieser Verlauf durch den komplexen Widerstand Z der Spule bzw. die Induktivität, für die allgemein gilt:

$$L = n^2 \mu_0 \mu_r \frac{A}{l} \quad (1)$$

Sie ist also direkt von der Permeabilität des umfassten Kernmaterials abhängig. Aber auch der Gesamtwiderstand, der sich aus dem Gleichstromwiderstand der Wicklung und dem Ersatzwiderstand der Kernverluste zusammensetzt, zeigt läuferpositionsabhängige Änderungen. Die Ursache hierfür liegt in den Hystereseverlusten, die zusammen mit Wirbelstrom- und Nachwirkungsverlusten die Kernverluste bilden. Auch die Wirbelstrom- und Nachwirkungsverluste haben einen Einfluss auf die Größe des Verlustwiderstandes, allerdings zeigen sie keine Abhängigkeit von der Flussdichte.

Zur praktischen Umsetzung der integrierten Wegmessung wird der Motor beispielsweise wieder mit einer pulsweitenmodulierten Spannung angesteuert, zu zwei Zeitpunkten nach dem Flankenwechsel abgetastet und Induktivität sowie ohmscher Widerstand berechnet. Ausführlich und auch beispielhaft wurde das Verfahren in [2] und [3] vorgestellt.

Auch in mehrsträngigen, heteropolaren Systemen kann eine integrierte Wegmessung nach dem Verfahren der Flussdichtedetektion realisiert werden. Dazu wurde am IKFF ein dreisträngiger Antrieb in rotationssymmetrischer Bauweise konstruiert und untersucht, Bild 16.

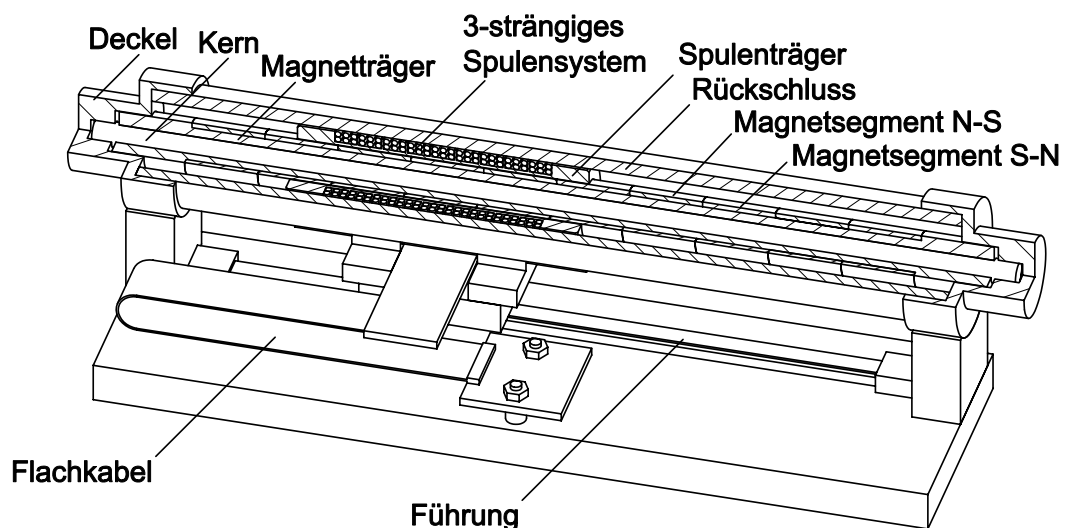


Bild 16: Dreisträngiger, rotationssymmetrischer Antrieb mit integrierter Wegmessung

Kern und Magnetträger bestehen aus Automatenstahl (9SMn28k), auf den Magnetträger sind die Magnete in Form von diametral magnetisierten Viertelsegmenten aufgeklebt. In diesem Kern

ergibt sich ein periodischer Flussdichteverlauf mit lokalen Maxima an den Fügestellen der Magnete. Eine Messung der Spuleneigenschaften mit einem Impedanzanalysator ergab die in Bild 17 dargestellten Ergebnisse.

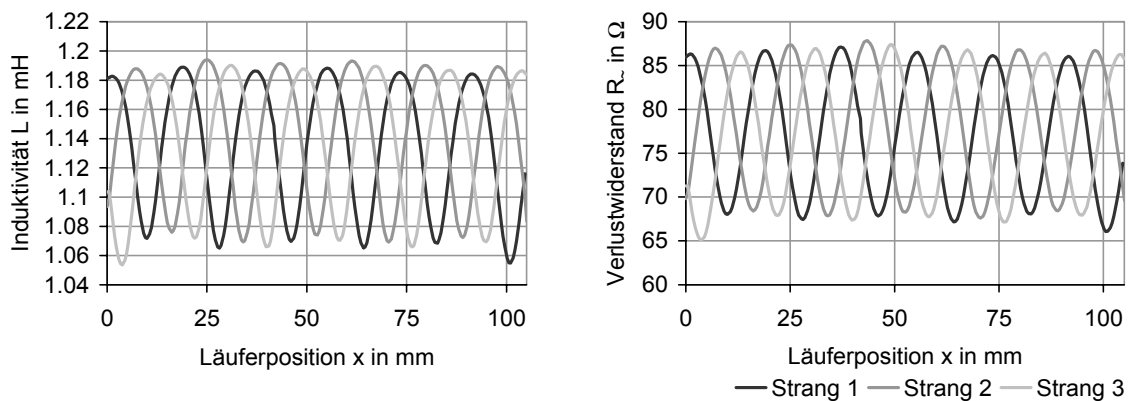


Bild 17: Induktivität und Verlustwiderstand über dem Läuferweg bei dem Motor nach Bild 16

Jeder Antriebsstrang zeigt einen periodischen Verlauf sowohl der Induktivität als auch des Verlustwiderstandes. Dabei ist die Phasenverschiebung zwischen den einzelnen Strängen so groß, dass ein inkrementelles Messsystem aufgebaut werden kann. Allerdings ist auch bei der integrierten Wegmessung durch Detektion der Flussdichte mit erheblichen Fehlereinflüssen durch Temperaturänderungen, Wirbelströme, Strangverkopplung und bewegungsinduzierte Gegenspannungen zu rechnen. Diese Fragen werden derzeit vertieft untersucht, um schließlich auch hierfür Aussagen über die zu erwartende Genauigkeiten treffen zu können.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Zunächst waren nur Antriebe mit relativ zur Wicklung bewegten Weicheisen- oder Magnetkomponenten über deren Induktivitätsänderungen beim Ein- bzw. Ausfahren aus Teilspulen des Motors für eine integrierte Wegmessung zugänglich. Aufgrund ihres Aufbaus sind derartige Antriebe meist als Motoren mit bewegten Magneten und in ihren Wicklungen als Langspulsystem ausgeführt. Durch Detektion der Flussdichte können zusätzlich auch Linearmotoren ohne bewegte Eisenkomponenten mit Kurzspulsystemen mit einer sensorlosen Läuferpositionserkennung ausgerüstet werden. Damit erweitert sich das Anwendungsspektrum zum einen auf Tauchspulantriebe und zum anderen auch auf hochdynamische Antriebe mit bewegten, Eisen umfassenden Spulen (Solenoid, Kastenspulen) und überdeckt nun nahezu die gesamte Vielfalt möglicher Bauformen mit Ausnahme von Flachspulanordnungen.

Eine entsprechende konstruktive Anpassung bei Motoren mit bewegten Eisenteilen oder eine entsprechende Magnetkreisauslegung ist i. Allg. unumgänglich, um zur Messung geeignete sensorische Eigenschaften zunächst zu implementieren. In machen Fällen, wie z.B. bei Tauchspulmotoren oder bei ausgewählten dreisträngigen Antrieben könnten aber auch bereits Standardbauformen ohne zusätzliche Maßnahmen mit einer integrierten Wegmessung ausgerüstet werden. Typischerweise muss man hier aber von einer klassischen mechatronischen Aufgabenstellung sprechen. Motor und Messtechnik bilden eine Einheit. Sensorische Eigenschaften müssen im Rahmen der Motorentwicklung eingeprägt werden, um sie durch elektronische beziehungsweise softwaretechnische Komponenten als Weginformation nutzen zu können. Der Aufwand zur Positionserfassung geht von dem Sensor in die Auswerteelektronik und Software über. Je breiter Mikrorechnerlösungen zur Ansteuerung dabei zum Einsatz kommen und je größer deren Leistungsfähigkeit ist, umso weniger Aufwand in Relation zur Gesamtlösung erfordert dabei die integrierte Wegmessung.

Allerdings sind der integrierten Wegmessung durch die Nutzung interner sensorischer Eigenschaften einer mechanischen beziehungsweise elektromechanischen Komponente auch deutliche Grenzen gesetzt. Gegenseitige Beeinflussungen, Rückwirkungen und auch Unzulänglichkeiten in der Fertigung erfordern letztlich zur Erzielung hoher Genauigkeiten auch hohe Aufwände in Form von Korrekturkurven oder Kalibrierungen. Damit steigt der notwendige Inbetriebnahmeaufwand an, beispielsweise durch Kalibriermessungen mit einem Referenzsystem. Typische Anwendungsgebiete sind also eher mittlere Genauigkeiten bei ohnehin vorhandenen Mikrorenergesteuerten Antrieben. Dann bildet die integrierte Wegmessung eine interessante Alternative gegenüber der Implementierung zusätzlicher Messsysteme.

Die Einsatzgebiete der integrierten Wegmessung sind dabei mit den bisher dargestellten elektrodynamischen Antrieben nach dem Gleichstrommotorprinzip bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Am IKFF wurden beispielsweise auch Konzepte entwickelt, um in Asynchronlinearmotoren eine integrierte Wegmessung zu realisieren. Eine Ausdehnung auf weitere Motoren ist denkbar.

Literatur- bzw. Quellenhinweise:

- [1] Welk, C.: Detektion interner sensorischer Eigenschaften von elektrodynamischen Lineardirektantrieben. Dissertation. Universität Stuttgart 2004
- [2] Clauß, C., Schinköthe, W.: Integrierte Wegmessung in feinwerktechnischen Lineardirektantrieben durch Detektion der Flussdichte im flussführenden Eisen. Zwischenbericht zum DFG-Projekt SCHI457/8-1. Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik 2004
- [3] Clauß, C., Schinköthe, W.: Integrierte Wegmessung in Lineardirektantrieben – Erschließung neuer Anwendungsfelder durch Flussdichtedetektion. Tagung "Mechatronik 2005 - Innovative Produktentwicklung", Wiesloch 01.-02. Juni 2005.
- [4] Stöcker, H.: Taschenbuch der Physik. Frankfurt am Main: Verlag Harri Deutsch 2000
- [5] Boll, R.: Weichmagnetische Werkstoffe. Berlin, München: Siemens AG 1990
- [6] Gundelsweiler, B.: Dimensionierung und Konstruktion von feinwerktechnischen elektrodynamischen Lineardirektantrieben. Dissertation. Universität Stuttgart 2003

Autorenangaben:

Dipl.-Ing. Christin Clauß

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe

Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik, Pfaffenwaldring 9
70569 Stuttgart

Tel.: 0711/685-6402

Fax: 0711/685-6356

E-mail: aktorik@ikff.uni-stuttgart.de